

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 11 期 Vol.31 No.11 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 11 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

微生物介导的碳氮循环过程对全球气候变化的响应·····	沈菊培, 贺纪正 (2957)
巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”·····	贾晓会, 施定基, 史绵红, 等 (2968)
我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动·····	文礼章, 张友军, 朱 亮, 等 (2978)
庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织特征映射网络分类与排序·····	张钦弟, 张金屯, 苏日古嘎, 等 (2990)
上海大莲湖湖滨带湿地的生态修复·····	吴 迪, 岳 峰, 罗祖奎, 等 (2999)
芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量·····	武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 等 (3009)
土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应·····	张圣喜, 陈法霖, 郑 华 (3020)
中亚热带几种针、阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响·····	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3027)
桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (3036)
重金属 Cd 胁迫对红树蚬的抗氧化酶、消化酶活性和 MDA 含量的影响·····	赖廷和, 何斌源, 范航清, 等 (3044)
海南霸王岭天然次生林边缘效应下木质藤本与树木的关系·····	乌玉娜, 陶建平, 奚为民, 等 (3054)
半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺·····	杨 磊, 卫 伟, 莫保儒, 等 (3060)
季节性干旱对中亚热带人工林显热和潜热通量日变化的影响·····	贺有为, 王秋兵, 温学发, 等 (3069)
新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝桉柳光合作用及水分利用的生态适应性·····	王珊珊, 陈 曦, 王 权, 等 (3082)
利用数字图像估测棉花叶面积指数·····	王方永, 王克如, 李少昆, 等 (3090)
野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应·····	薛忠财, 高辉远, 柳 洁 (3101)
水磷耦合对小麦次生根特殊根毛形态与结构的影响·····	张 均, 贺德先, 段增强 (3110)
应用物种指示值法解析昆崙山植物群落类型和植物多样性·····	孙志强, 张星耀, 朱彦鹏, 等 (3120)
基于 MSIASM 方法的中国省级行政区体外能代谢分析·····	刘 晔, 耿 涌, 赵恒心 (3133)
不同生态区烟草的叶面腺毛基因表达·····	崔 红, 冀 浩, 杨惠娟, 等 (3143)
B 型烟粉虱对 23 种寄主植物适应度的评估和聚类分析·····	安新城, 郭 强, 胡琼波 (3150)
杀虫剂啶虫脒和毒死蜱对捕食蜘蛛血细胞 DNA 的损伤作用·····	李 锐, 李生才, 刘 佳 (3156)
杀真菌剂咪鲜安对蓼花臂尾轮虫的影响·····	李大命, 陆正和, 封 琦, 等 (3163)
长、短期连续孤雌生殖对蓼花臂尾轮虫生活史和遗传特征的影响·····	葛雅丽, 席貽龙 (3170)
专论与综述	
区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展·····	赵 军, 杨 凯, 邵 俊, 等 (3180)
露水对植物的作用效应研究进展·····	叶有华, 彭少麟 (3190)
葡萄座腔菌科研究进展——鉴定, 系统发育学和分子生态学·····	程燕林, 梁 军, 吕 全, 等 (3197)
人工林生产力年龄效应及衰退机理研究进展·····	毛培利, 曹帮华, 田文侠, 等 (3208)
树木年轮在干扰历史重建中的应用·····	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (3215)
植物中逆境反应相关的 WRKY 转录因子研究进展·····	李 冉, 娄永根 (3223)
研究简报	
三江源地区高寒草原土壤微生物活性和微生物量·····	任佐华, 张于光, 李迪强, 等 (3232)
3 种黑杨无性系水分利用效率差异性分析及相关 <i>ERECTA</i> 基因的克隆与表达·····	郭 鹏, 夏新莉, 尹伟伦 (3239)
猕猴桃园节肢动物群落重建及主要类群的生态位·····	杜 超, 赵惠燕, 高欢欢, 等 (3246)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 298 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-06



封面图说: 盘锦市盘山县水稻田——盘锦市位于辽宁省西南部, 自古就有“鱼米之乡”的美称。这里地处温带大陆半湿润季风气候, 有适宜的温度条件和较长的生长期以供水稻生长发育, 农业以种植水稻为主, 年出口大米达 1 亿多公斤, 是国家级水稻高产创建示范区和重要的水稻产区。

彩图提供: 沈菊培博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: jpshe@reccs.ac.cn

土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应

张圣喜¹, 陈法霖², 郑 华^{2,*}

(1. 怀化职业技术学院, 湖南怀化 418000; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要:通过小盆模拟试验研究了南方红壤丘陵区典型阔叶树种香樟、白栎和青冈的凋落物分解过程中土壤微生物群落结构的异同。结果表明: (1) 凋落物含氮量: 白栎>香樟>青冈; 碳、木质素的含量以及碳/氮比、木质素/氮比: 青冈>香樟>白栎; 分解速率: 白栎>香樟>青冈; (2) 随着凋落物分解的进程, 土壤微生物群落 16:0、15:0、i16:0、a17:0、17:0、18:2 ω 6、9c 和 10Me18:0 的含量上升, 18:0、14:0、16:1 ω 7c、18:1 ω 7c、cy19:0、i19:0 和 10Me19:0 的含量下降, 饱和直链脂肪酸/单不饱和脂肪酸、革兰氏阳性菌/革兰氏阴性菌以及 cy19:0/18:1 ω 7c 的比值都显著上升。 (3) 两个时期白栎凋落物处理土壤 16:0、15:0、a15:0、i16:0、a17:0、17:0、cy19:0、18:2 ω 6、9c、18:1 ω 9c 和 10Me18:0 的含量显著高于香樟和青冈凋落物处理的土壤, 细菌、真菌的磷脂脂肪酸含量以及磷脂脂肪酸总量显著高于香樟和青冈凋落物处理的土壤。随着阔叶凋落物的分解, 变化的土壤环境对土壤微生物群落的胁迫增强, 土壤微生物群落结构发生显著变化。与香樟和青冈的凋落物相比, 白栎凋落物碳/氮比和木质素/氮比低、分解快, 能显著改善土壤微生物群落结构, 更有利于土壤肥力提高和生态系统养分循环的改善。

关键词:阔叶凋落物分解; 土壤微生物群落结构; PLFA

Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China

ZHANG Shengxi¹, CHEN Falin², ZHENG Hua^{2,*}

¹ Huaihua Vocational Technology College, Huaihua 418000, China

² State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: Litters are the important component of forest ecosystem and play a key role in ecosystem nutrient cycle. The mineralization of nitrogen, phosphorus and other nutrients from plant litters provides an important input of inorganic nutrients to the soil, which can be taken up by plants. Soil microbial communities are one of the important factors controlling the dynamics of nutrient mineralization or immobilization during decomposition. However, different litters have different impacts on soil microbial communities. To understand the responses of soil microbial community composition to different litter decomposition, the PLFAs (phospholipid fatty acids) compositions of the soil microbial communities under three typical broadleaf species treatments, including camphor tree (*Cinnamomum camphora*), white oak (*Quercus fabri*) and blue Japanese oak (*Cyclobalanopsis glauca*) were studied by the simulation experiment with flowerpots at the Ecological Benefit Monitoring Station of the Yangtze River Protection Forest, which is located in Hengyang County of southern Hunan Province. The results showed that: (1) the initial nitrogen content of three broadleaf litters ranked as follows: white oak > camphor tree > blue Japanese oak, however the initial content of carbon and lignin, and the carbon-nitrogen ratio, lignin-nitrogen ratio had inverse trend: blue Japanese oak > camphor tree > white oak. And the white oak litter had the highest decomposition rate, followed by camphor tree and blue Japanese oak. (2) During litter decomposition, the PLFAs

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40871130, 30600474)

收稿日期: 2011-02-28; 修订日期: 2011-04-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhenghua@rcees.ac.cn

compositions of the soil microbial communities under three litter treatments had similar tendency: the concentrations of 18:0, 14:0, 16:1 ω 7c, 18:1 ω 7c, cy19:0, i19:0 and 10Me19:0 decreased gradually, and the concentrations of 16:0, 15:0, i16:0, a17:0, 17:0, 18:2 ω 6,9c and 10Me18:0 increased step by step. Three stress indicators, the saturated PLFA to monosaturated PLFA ratio (SAT/MONO), the Gram-positive bacteria to Gram-negative bacteria ratio (G^+/G^-) and the cy19:0/18:1 ω 7c ratio of the soil microbial community increased significantly with the decomposition of three kind of litters. (3) The concentrations of 16:0, 15:0, a15:0, i16:0, a17:0, 17:0, cy19:0, 18:2 ω 6,9c, 18:1 ω 9c and 10Me18:0, the PLFA of bacteria and fungi and the total PLFA of microbial community in soils treated with white oak litters were significantly higher than those of camphor tree and blue Japanese oak during the two periods. The soil microbial community structure changed significantly during the decomposition of broadleaf litters. Comparing with camphor tree litter and blue Japanese oak litter, the litters of white oak had lower carbon-nitrogen ratio, lignin-nitrogen ratio, and decomposed more quickly, which improved the soil microbial community structure significantly. Our results suggested that white oak litter was more suitable for soil fertility improvement and the nutrient cycle in forest ecosystem, comparing with camphor tree litter and blue Japanese oak litter.

Key Words: litter decomposition of broad leaf; soil microbial community structure; PLFA

凋落物分解是森林土壤有机质和养分的主要来源之一,在维持土壤肥力和促进森林生态系统正常的生物循环和养分平衡等方面起着重要作用^[1-2]。虽然凋落物分解速率受气候的影响很大,但是在环境条件一致的情况下凋落物分解及其养分释放主要受凋落物初始化学组成调控^[1]。土壤微生物作为森林凋落物的主要分解者,其多度、群落结构和活性必然受到凋落物的影响,而这些也反过来决定凋落物的分解速率和养分释放^[1-4]。研究发现与纯松树凋落物相比,松-阔混合凋落物分解速率较快^[2],这是因为阔叶的含氮量比针叶高,而碳/氮比则低于针叶,针叶和阔叶混合分解时,初始凋落物质量得到改善,有利于增加土壤中微生物的生物量,改变微生物群落结构,提高微生物群落的活性,从而加快混合凋落物中针叶的分解速率和养分释放^[4-8]。鉴于天然林面积日趋缩小,人工大面积针叶纯林和纯林连栽后造成的土壤肥力、生产力下降和生态服务功能退化的后果已被人们认识,近年来国内外学者对凋落物混合分解的研究日益重视。我国在人工造林的过程中已经探索出了一些合理的针阔混交模式,例如杉木火力楠混交林^[9]。混交林阔叶树种的选择和阔叶树种凋落物对土壤微生物学性质具有重要作用,但是目前对中亚热带森林单一阔叶凋落物的分解对土壤微生物群落结构的影响研究较少。

香樟(*Cinnamomum camphora*)是亚热带常绿阔叶林的代表树种,也是亚热带地区重要的材用和特种经济树种。白栎(*Quercus fabri*)和青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)属于壳斗科(*Fagaceae*)落叶乔木,是中亚热带常绿阔叶林和针阔混交林的主要组成成分,在我国南方各省有较丰富的资源^[10-11]。本研究通过控制试验,以这3种中亚热带具有代表性的阔叶森林树种的凋落物为研究对象,探讨了土壤微生物群落结构对这3种凋落物分解过程的响应,为揭示森林凋落物分解的微生物学机理和该区域造林混交树种的选择提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

研究场所选在湘南红壤丘陵区国家长江防护林生态效应监测站,位于湖南省衡阳县栏垅乡长冲村小流域,地处27°05'N,112°18'E,属亚热带季风湿润性气候,海拔86—147 m,属典型的红壤低丘岗地,母岩为砂页岩,土壤为红壤,pH值4—5,该流域年平均气温17.9℃,1月份平均气温5.7℃,7月份平均气温29.3℃,年平均降雨量为1237 mm,主要集中在5—8月。该区域植被类型属亚热带常绿阔叶林和针叶林,主要有马尾松(*Pinus massoniana*)、湿地松(*Pinus elliottii*)等人工林及马尾松阔叶混交的天然次生林^[12]。

1.2 试验设计

本研究采用塑料花盆(直径30 cm、深度20 cm)进行凋落物分解模拟试验。选取林边小气象观测站边上

10 m × 10 m 空地模拟林内环境搭建大棚,大棚用遮光率 85% 的遮阳网覆盖,小盆埋于土中,挖取林边空地 0—40 cm 土层的土壤,去除土壤中原有的植物碎屑、死根等其他杂质,弄碎混匀移至小盆中,各小盆内的供试土壤性质基本一致:土壤有机碳(8.9±1.1) g/kg,总氮(0.6±0.1) g/kg,总磷(73.2±11.6) mg/kg,总钾(16.1±0.9) g/kg,碱解氮(28.7±6.5) mg/kg,速效磷(0.4±0.1) mg/kg,速效钾(21.7±4.3) mg/kg,pH 值 4.3±0.1(实验方法参考土壤农化分析^[13])。

凋落袋所选尼龙网袋大小为 25 cm×30 cm,网孔为 1 mm²。研究对象为中亚热带森林中常见的阔叶树种香樟(*Cinnamomum camphora*, camphor tree, CT)、白栎(*Quercus fabri*, white oak, WO)和青冈(*Cyclobalanopsis glauca*, blue Japanese oak, BJO)的凋落物,凋落物为 2006 年底收集的新近凋落叶。称取各凋落叶 20 g(风干后叶重)分别装入网袋,每种 45 袋,共 135 袋。所有凋落物袋随机放置于各小盆内土壤表面。

1.3 样品采集与分析

将装有凋落叶的网袋于 2007 年 4 月中旬投放到样地大棚内,分别于凋落物放置 9 个月和 18 个月后取样。每次每种凋落物随机取 3 袋,另同时取凋落袋下面表层 0—3 cm 土壤装入聚乙烯自封袋中,于 4 °C 条件下运回实验室。

将取回的凋落袋中的凋落叶在 80 °C 下烘干至恒重,然后称重,计算 2 个时期的质量残留率(MR, mass remaining)。凋落物初始碳(C)、氮(N)含量利用德国 Elementar 公司生产的元素分析仪(Vario III)测定。凋落物初始木质素含量用酸性洗涤纤维法进行测定^[14]。

土壤微生物磷脂脂肪酸的测定在 Frostegård 等^[15]的方法上加以改进。总 PLFA 量表示群落微生物生物量;11 种 PLFA(14:0、15:0、a15:0、i16:0、16:1ω7c、a17:0、17:0、18:1ω7c、i18:0、cy19:0、i19:0,其中用 a15:0、i16:0、a17:0、i18:0 和 i19:0 的量估算革兰氏阳性菌,用 16:1ω7c、18:1ω7c 和 cy19:0 的量估算革兰氏阴性菌)的量表示细菌生物量;18:2ω6,9c 和 18:1ω9c 的量表示真菌生物量;10Me18:0 和 10Me19:0 的量表示放线菌生物量^[16-19]。

1.4 数据处理

用主成分分析法(Principal Component Analysis, PCA)和方差分析(Analysis of Variance, ANOVA)确定不同处理间土壤微生物群落结构的相异程度。统计分析通过 CANOCO4.5 和 SPSS16.0 统计软件实现。

2 结果

2.1 凋落物化学性质和质量残留率

3 种凋落物化学性质差异显著($P < 0.05$)。3 种凋落物碳、木质素的含量以及碳/氮比、木质素/氮比规律一致,从大到小依次为:青冈>香樟>白栎。凋落物含氮量的规律则表现为:白栎>香樟>青冈。从 2 个取样时期凋落物的质量残留率来看,3 种凋落物中白栎分解最快,其次是香樟,青冈最慢(表 1)。

表 1 供试凋落物性质(平均值±标准差, $n=3$)

Table 1 Properties of experimental litters (means±SD, $n=3$)

凋落物 Litters	缩写 Abbreviations	碳 C /%	木质素 Lignin/%	氮 N /%	碳氮比 C/N	木质素/氮 Lignin/N	MR ₁₈ /%
香樟 Camphortree	CT	49.33±0.04b	23.74±0.11b	1.52±0.02b	32.46±0.36b	15.62±0.17b	71±3
白栎 White oak	WO	48.23±0.09c	14.85±0.07c	1.78±0.01a	27.07±0.17c	8.34±0.78c	68±4
青冈 Blue Japanese oak	BJO	49.84±0.07a	34.37±0.19a	1.30±0.01c	38.29±0.22a	26.40±0.26a	80±2

MR₁₈, 凋落物分解 18 个月时的质量残留率

2.2 土壤微生物群落结构

2.2.1 土壤微生物群落磷脂脂肪酸含量

根据不同类群微生物的特征脂肪酸的含量和脂肪酸的总量可以估算土壤中微生物的生物量。2 个取样时期,白栎凋落物处理的土壤中细菌和真菌磷脂脂肪酸的含量以及磷脂脂肪酸总量都显著高于香樟和青冈处理的土壤,9 个月时,放线菌的磷脂脂肪酸从高到低依次为香樟>白栎>青冈(表 2)。

表 2 土壤细菌、真菌、放线菌磷脂脂肪酸含量及总量(平均值±标准差,n=3)/(nmol/g)
Table 2 Bacteria, fungi, actinomycetes and Total PLFAs in soils(means± SD, n=3) (nmol/g)

时间 Time		细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	总量 Total PLFAs
9 个月 9 months	CT	14.34±0.28b	1.88±0.01b	4.02±0.06a	25.06±0.08b
	WO	19.26±0.66a	3.08±0.05a	3.80±0.11b	33.01±1.33a
	BJO	14.69±0.30b	1.92±0.02b	3.54±0.08c	24.64±0.26b
18 个月 18 months	CT	15.45±0.11b	2.50±0.12c	4.25±0.05	29.91±0.20b
	WO	18.73±0.60a	3.52±0.11a	4.56±0.27	35.85±1.23a
	BJO	15.45±0.42b	2.92±0.10b	4.34±0.07	29.90±0.59b

2.2.2 土壤微生物群落磷脂脂肪酸结构

用比例大于 2% 的磷脂脂肪酸做主成分分析(图 1)。主成分一解释了不同群落间 89.15% 的变异,主成分二解释了 8.23%。两个主成分得分系数的方差分析结果表明:凋落物分解 9 个月时的微生物群落磷脂脂肪酸结构与 18 个月时差异显著,9 个月时所有处理都落在图的左边,而 18 个月时所有处理都落在图的右边,所有处理 9 个月时在主成分一和主成分二上的得分系数都显著高于各自在 18 个月时的得分系数。在凋落物分解 9 个月至 18 个月的过程中,所有凋落物处理土壤的微生物群落磷脂脂肪酸结构具有一致的变化趋势(图 1 和 2):16:0 含量上升,18:0 含量降低;细菌特征脂肪酸 14:0、16:1ω7c、18:1ω7c、cy19:0 和 i19:0 的含量下降,15:0、i16:0、a17:0 和 17:0 的含量上升;真菌特征脂肪酸 18:2ω6,9c 的含量上升;放线菌特征脂肪酸 10Me19:0 含量下降,10Me18:0 含量上升。

白栎凋落物处理土壤的微生物群落磷脂脂肪酸结构与香樟、青冈凋落物处理的土壤差异显著(图 1),白栎处理分布在图的上部,两个时期白栎在主成分一和主成分二上的得分系数都显著高于香樟和青冈,两个时

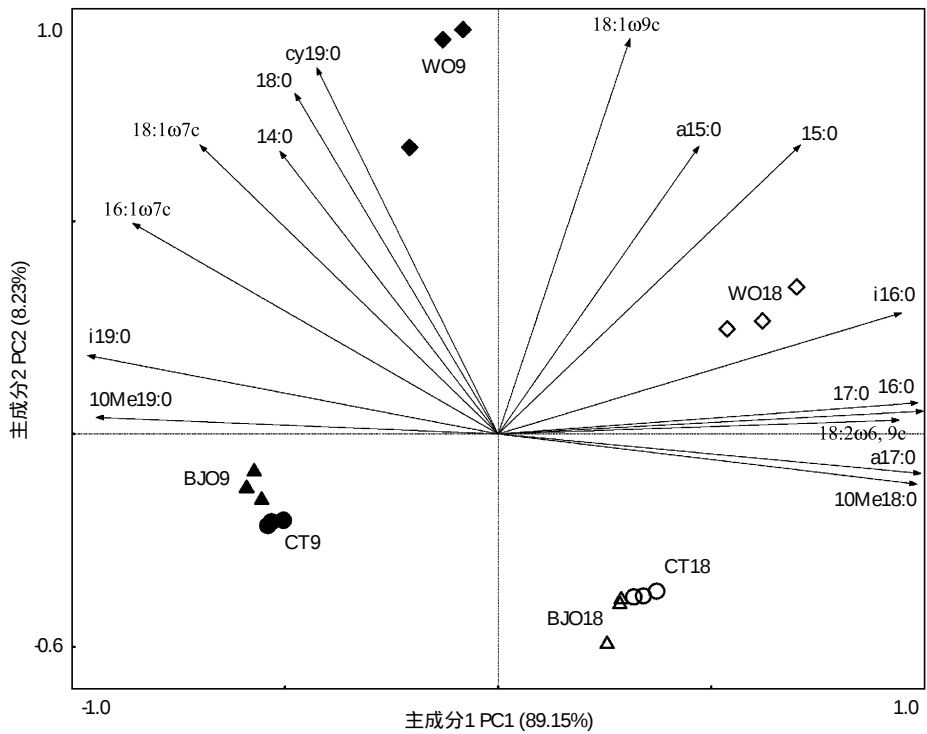


图 1 土壤微生物群落磷脂脂肪酸组成的主成分分析

Fig. 1 Principal components analysis of PLFAs compositions of the microorganism communities in soils

●,CT9,香樟凋落物分解 9 个月;○,CT18,香樟凋落物分解 18 个月;◆,WO9,白栎凋落物分解 9 个月;◇,WO18,白栎凋落物分解 18 个月;▲,BJO9,青冈凋落物分解 9 个月;△,BJO18,青冈凋落物分解 18 个月

期白栎凋落物处理的土壤中通用脂肪酸 16:0, 细菌的特征脂肪酸 15:0、a15:0、i16:0、a17:0、17:0 和 cy19:0, 真菌的特征脂肪酸 18:2 ω 6,9c 和 18:1 ω 9c 以及放线菌的特征脂肪酸 10Me18:0 的含量都显著高于香樟和青冈凋落物处理的土壤, i19:0 和 10Me19:0 则相反。

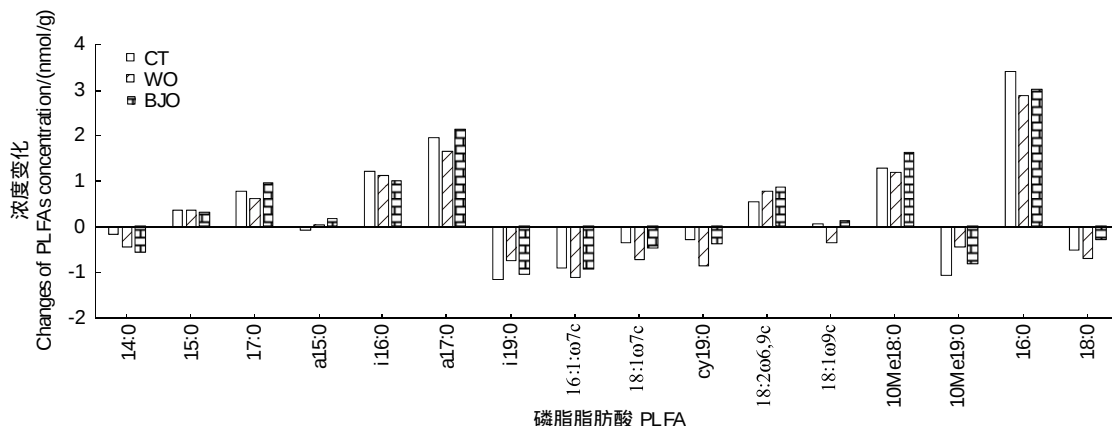


图2 磷脂脂肪酸摩尔浓度在凋落物分解9—18个月的变化

Fig. 2 Changes of PLFAs molar concentration in soils during 9—18 months of litter decomposition

2.2.3 土壤微生物群落磷脂脂肪酸比值

与凋落物分解9个月时的土壤微生物群落相比,18个月时,3种凋落物处理土壤微生物群落的饱和直链脂肪酸/单不饱和脂肪酸、革兰氏阳性菌/革兰氏阴性菌以及 cy19:0/18:1 ω 7c 的比值都显著上升。3种凋落物处理土壤以上3个比值在18个月时的值分别是9个月时的3.2(香樟)—3.6(白栎)倍、2.9(香樟)—3.6(白栎)倍、2.3(香樟)—2.5(青冈)倍(图3)。

3 讨论

土壤微生物群落既是森林凋落物分解的主要驱动者,又受凋落物分解过程的影响。本研究中随着3种凋落物的分解,土壤微生物群落结构发生了显著变化:饱和直链脂肪酸/单不饱和脂肪酸、革兰氏阳性菌/革兰氏阴性菌、cy19:0/18:1 ω 7c 的比值显著上升(图3)。其原因可能是:①可利用养分逐渐减少。已有研究表明:饱和直链脂肪酸/单不饱和脂肪酸、cy19:0/18:1 ω 7c 的比值与养分可利用性密切相关,随养分的可利用性降低而升高^[20-21]。随着凋落物的不断分解,容易被微生物利用的有机物(糖类、蛋白质等)逐渐减少^[22],凋落物分解过程中可利用养分逐渐减少可能是上述指标显著升高的主要原因之一。②难分解有机物质比例逐渐增加。随着凋落物分解时间的延长,纤维素、木质素等难以被微生物利用的大分子有机物比例增加^[22]。受难分解有机物质比例增加的影响,与难分解物质代谢相关的纤维素酶、 β -葡萄糖苷酶的活性相应增强,比革兰氏阴性菌利用难分解有机物质能力更强的革兰氏阳性菌的比例也会随着凋落物分解而升高^[19-20,23]。除此之外,土壤微生物群落各种单一脂肪酸也发生了一系列的变化(图2)。

土壤微生物群落结构对不同阔叶树种凋落物分解过程的响应也不一致。与香樟和青冈凋落物处理的土壤相比,白栎凋落物处理的土壤细菌、真菌、微生物总量以及大多数单一磷脂脂肪酸的含量都是三种凋落物处理中最高的(图1和表2),原因可能是:①白栎凋落物的含氮量最高,而碳/氮比最低(表1)。凋落物的生物降解主要由微生物完成,已有研究表明:微生物的生长有相对严格的化学计量的需求,土壤微生物的碳/氮比

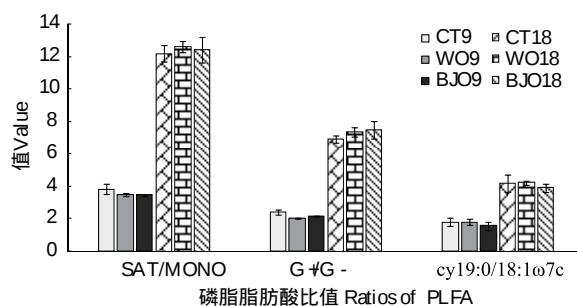


图3 土壤微生物群落磷脂脂肪酸比值

Fig. 3 The ratios of phospholipid fatty acids of soil microbial community

相对恒定,约为 10:1^[24],与本研究 3 种供试凋落物相比具有较低的碳/氮比,所以微生物的生长对氮的需求较高,而 3 种阔叶凋落物中以白栎凋落物的含氮量最高,其碳/氮比也最接近满足微生物合成自身生物量所需最适的碳/氮比(约为 25:1^[24]),这可能是白栎凋落物处理土壤微生物生物量最高的原因之一;②白栎凋落物中木质素含量最低,碳可利用性更高。木质素属于凋落物中难分解的复杂化合物^[20],不是所有的微生物都能产生分解它所必需的酶,而这些微生物又只有当得不到其他更易分解的底物时才产生这些酶,凋落物木质素含量低对微生物而言则意味着具有更高的碳活性^[24]。森林凋落物为土壤微生物提供了丰富的营养源,不同性质的凋落物必然导致土壤微生物群落之间产生差异^[25],反过来又影响凋落物的分解速率^[26]。根据以上两点我们可知:白栎凋落物的碳/氮比和木质素/氮比低,分解快,更容易被土壤微生物所利用,从而刺激土壤微生物产生更多的生物量,改善土壤微生物群落结构的效应更明显,更有利于土壤肥力提高和生态系统养分循环的改善。

磷脂几乎存在于所有细胞的细胞膜中,并且在细胞死亡后迅速分解,与传统的培养方法相比,磷脂脂肪酸图谱研究不仅可以从不从不同磷脂脂肪酸的变化知道微生物群落结构动态,还可以从磷脂脂肪酸结构变化了解微生物的生理状况和土壤环境的变化^[15-16,19,21],更能深刻揭示土壤微生物群落结构对凋落物分解的响应特征及其机制。值得注意的是,本研究采用的是模拟试验,而野外森林中植物为土壤微生物提供源源不断的新鲜凋落物,新鲜凋落物增添对土壤微生物群落的累积效应有待进一步研究。

References:

- [1] Manzoni S, Jackson R B, Trofymow J A, Porporato A. The global stoichiometry of litter nitrogen mineralization. *Science*, 2008, 321(5889): 684-686.
- [2] Polyakova O, Billor N. Impact of deciduous tree species on litterfall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands. *Forest Ecology and Management*, 2007, 253(1/3): 11-18.
- [3] Bragazza L, Sifi C, Iacumin P, Gerdol R. Mass loss and nutrient release during litter decay in peatland: the role of microbial adaptability to litter chemistry. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 39(1): 257-267.
- [4] Hu Y L, Wang S L, Huang Y, Yu X J. Effects of litter chemistry on soil biological property and enzymatic activity. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2662-2668.
- [5] Lin K M, Zhang Z Q, Zou S Q, Cao G Q. The influence of chinese fir mixed with broad-leaf litter decomposition on character of forest soil. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(2): 258-262.
- [6] Lin K M, Zhang Z Q, Cao G Q, He Z M, Ma X Q. Decomposition characteristics and its nutrient dynamics of leaf litter mixtures of both Chinese fir and *Phoebe bournei*. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2732-2738.
- [7] Wang Q K, Wang S L, Yu X J, Zhang J, Liu Y X. Effects of *Cunninghamia lanceolata*-broadleaved tree species mixed leaf litters on active soil organic matter. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(6): 1203-1207.
- [8] Chen F L, Zheng H, Ouyang Z Y, Zhang K, Tu N M. Responses of microbial community structure to the leaf litter composition. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(3): 603-611.
- [9] Feng Z W, Chen C Y, Zhang J W, Zeng S Y, Luo R S, Chen W Z. A coniferous broad-leaved mixed forest of higher productivity and ecological coordination in subtropics-study on mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei*. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1988, 12(3): 165-180.
- [10] Lu G, Shen A H, Zhang J, Ge Y J, Yuan W G, Jiang B, Zhu J R. Study on structure characteristics of secondary broad-leaved forest community in the Southern Zhejiang. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2010, 30(1): 36-40.
- [11] Zhu X W, Zhang K R, Liu K M, Wang S L, Tian S Z, Liu Y D. The quantitative classification of plant communities in Yuelu Mountain. *Journal of Natural Science of Hunan Normal University*, 2009, 32(3): 89-94.
- [12] Zheng H, Chen F L, Ouyang Z Y, Fang Z G, Wang X K, Miao H. Utilization of different carbon sources types in biolog-GN microplates by soil microbial communities from four forest types. *Environmental Science*, 2007, 28(5): 1126-1130.
- [13] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. Third edition. Beijing: China Agriculture Press, 2005.
- [14] Graca M A S, Bärlocher F, Gessner M O. *Methods to Study Litter Decomposition: A Practical Guide*. Netherlands: Springer, 2005.
- [15] Frostegård Å, Bååth E, Tunlio A. Shifts in the structure of soil microbial communities in limed forests as revealed by phospholipid fatty acid analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993, 25(6): 723-730.

- [16] Frostegård Å, Bååth E. The use of phospholipid fatty acid analysis to estimate bacterial and fungal biomass in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 1996, 22(1/2): 59-65.
- [17] Bååth E. The use of neutral lipid fatty acids to indicate the physiological conditions of soil fungi. *Microbial Ecology*, 2003, 45(4): 373-383.
- [18] Frostegård Å, Tunlid A, Bååth E. Phospholipid fatty acid composition, biomass, and activity of microbial communities from two soil types experimentally exposed to different heavy metals. *Applied and Environmental Microbiology*, 1993, 59(11): 3605-3617.
- [19] Diedhiou S, Dossa E L, Badiane A N, Diedhiou I, Sène M, Dick R P. Decomposition and spatial microbial heterogeneity associated with native shrubs in soils of agroecosystems in semi-arid Senegal. *Pedobiologia*, 2009, 52(4): 273-286.
- [20] Fierer N, Schimel J P, Holden P A. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biology Biochemistry*, 2003, 35(1): 167-176.
- [21] Moore-Kucera J, Dick R P. PLFA profiling of microbial community structure and seasonal shifts in soils of a Douglas-Fir chronosequence. *Microbial Ecology*, 2008, 55(3): 500-511.
- [22] Guo J F, Yang Y S, Chen G S, Lin P, Xie J S. A review on litter decomposition in forest ecosystem. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(4): 93-100.
- [23] Schutter M E, Dick R P. Shifts in substrate utilization potential and structure of soil microbial communities in response to carbon substrates. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(11): 1481-1491.
- [24] Chapin F S III, Matson P A, Mooney H A. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. New York USA: Springer-Verlag, 2002.
- [25] Swift M J, Heal O W, Anderson, J M. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1979.
- [26] Elliott W M, Elliott N B, Wyman R L. Relative effect of litter and forest type on rate of decomposition. *American Midland Naturalist* 1993, 129(1): 87-95.

参考文献:

- [4] 胡亚林, 汪思龙, 黄宇, 于小军. 凋落物化学组成对土壤微生物学性状及土壤酶活性的影响. *生态学报*, 2005, 25(10): 2662-2668.
- [5] 林开敏, 章志琴, 邹双全, 曹光球. 杉木与阔叶树叶凋落物混合分解对土壤性质的影响. *土壤通报*, 2006, 37(2): 258-262.
- [6] 林开敏, 章志琴, 曹光球, 何宗明, 马祥庆. 杉木与楠木叶凋落物混合分解及其养分动态. *生态学报*, 2006, 26(8): 2732-2738.
- [7] 王清奎, 汪思龙, 于小军, 张剑, 刘燕新. 杉木与阔叶树叶凋落物混合分解对土壤活性有机质的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(6): 1203-1207.
- [8] 陈法霖, 郑华, 欧阳志云, 张凯, 屠乃美. 土壤微生物群落结构对凋落物组成变化的响应. *土壤学报*, 2011, 48(3): 603-611.
- [9] 冯宗炜, 陈楚莹, 张家武, 曾士余, 罗人深, 陈文钊. 一种高生产力和生态协调的亚热带针阔混交林-杉木火力楠混交林的研究. *植物生态学报*, 1988, 12(3): 165-180.
- [10] 卢刚, 沈爱华, 张健, 葛永金, 袁位高, 江波, 朱锦茹. 浙南次生阔叶林群落结构特征研究. *浙江林业科技*, 2010, 30(1): 36-40.
- [11] 朱晓文, 张克荣, 刘克明, 汪思龙, 田淑珍, 刘应迪. 岳麓山风景名胜区分植物群落数量分类. *湖南师范大学自然科学学报*, 2009, 32(3): 89-94.
- [12] 郑华, 陈法霖, 欧阳志云, 方治国, 王效科, 苗鸿. 不同森林土壤微生物群落对 Biolog-GN 板碳源的利用. *环境科学*, 2007, 28(5): 1126-1130.
- [13] 鲍士旦. *土壤农化分析*. (第三版). 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [22] 郭剑芬, 杨玉盛, 陈光水, 林鹏, 谢锦升. 森林凋落物分解研究进展. *林业科学*, 2006, 42(4): 93-100.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 11 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses of microbes-mediated carbon and nitrogen cycles to global climate change	SHEN Jupei, HE Jizheng (2957)
Formation of cyanobacterial blooms in Lake Chaohu and the photosynthesis of dominant species hypothesis	JIA Xiaohui, SHI Dingji, SHI Mianhong, et al (2968)
Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner) in China	WEN Lizhang, ZHANG Youjun, ZHU Liang, et al (2978)
Self-organizing feature map classification and ordination of <i>Larix principis-rupprechtii</i> forest in Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, ZHANG Jintun, Suriguga, et al (2990)
Ecological effects of lakeside wetlands restoration in Dalian Lake, Shanghai	WU Di, YUE Feng, LUO Zukui, et al (2999)
Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain	WU Xiaogang, GUO Jinping, YANG Xiuyun, et al (3009)
Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China	ZHANG Shengxi, CHEN Falin, ZHENG Hua (3020)
The decomposition of coniferous and broadleaf mixed litters significantly changes the carbon metabolism diversity of soil microbial communities in subtropical area, southern China	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3027)
Spatiotemporal heterogeneity of topsoil nutrients in Karst Peak-Cluster depression area of Northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (3036)
Effects of cadmium stress on the activities of antioxidant enzymes, digestive enzymes and the membrane lipid peroxidation of the mangrove mud clam <i>Geloina coaxans</i> (Gmelin)	LAI Tinghe, HE Binyuan, FAN Hangqing, et al (3044)
The edge effects on tree-liana relationship in a secondary natural forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island, China	WU Yuna, TAO Jianping, XI Weimin, et al (3054)
Soilwater deficit under different artificial vegetation restoration in the semi-arid hilly region of the Loess Plateau	YANG Lei, WEI Wei, MO Baoru, et al (3060)
The diurnal trends of sensible and latent heat fluxes of a subtropical evergreen coniferous plantation subjected to seasonal drought	HE Youwei, WANG Qiubing, WEN Xuefa, et al (3069)
Ecological adaptability of photosynthesis and water use for <i>Tamarix ramosissima</i> in the southern periphery of Gurbantungut Desert, Xinjiang	WANG Shanshan, CHEN Xi, WANG Quan, et al (3082)
Estimation of leaf area index of cotton using digital Imaging	WANG Fangyong, WANG Keru, LI Shaokun, et al (3090)
Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (<i>Glycine soja</i>) and cultivated soybean (<i>Glycine max</i>) to NaCl stress	XUE Zhongcai, GAO Huiyuan, LIU Jie (3101)
Effects of water and phosphorus supply on morphology and structure of special root hairs on nodal roots of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	ZHANG Jun, HE Dexian, DUAN Zengqiang (3110)
Applications of species indicator for analyzing plant community types and their biodiversity at Kunyushan National Forest Reserve	SUN Zhiqiang, ZHANG Xingyao, ZHU Yanpeng, et al (3120)
Societal metabolism for chinese provinces based on multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM)	LIU Ye, GENG Yong, ZHAO Hengxin (3133)
Comparative gene expression analysis for leaf trichomes of tobacco grown in two different regions in China	CUI Hong, JI Hao, YANG Huijuan, et al (3143)
Performance evaluation of B biotype whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> on 23 host plants	AN Xincheng, GUO Qiang, HU Qiongbo (3150)
Studies of hemocytes DNA damage by two pesticides acetamiprid and chlorpyrifos in predaceous spiders of <i>Pardosa astrigera</i> Koch	LI Rui, LI Shengcai, LIU Jia, (3156)
Effects of the fungicide prochloraz on the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LI Daming, LU Zhenghe, FENG Qi, et al (3163)
Effects of long- and short-term successive parthenogenesis on life history and genetics characteristics of <i>Brachionus calyciflorus</i>	GE Yali, XI Yilong (3170)
Review and Monograph	
Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality	ZHAO Jun, YANG Kai, TAI Jun, et al (3180)
Review of dew action effect on plants	YE Youhua, PENG Shaolin (3190)
Advances in Botryosphaeriaceae: identification, phylogeny and molecular ecology	CHENG Yanlin, LIANG Jun, LÜ Quan, et al (3197)
Advances in research on the mechanisms of age-related productivity decline of planted forests	MAO Peili, CAO Banghua, TIAN Wenxia, et al (3208)
The application of tree-ring on forest disturbance history reconstruction	FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (3215)
Research advances on stress responsive WRKY transcription factors in plants	LI Ran, LOU Yonggen (3223)
Scientific Note	
The soil microbial activities and microbial biomass in Sanjiangyuan Alpine grassland	REN Zuohua, ZHANG Yuguang, LI Diqiang, et al (3232)
The differences of water use efficiency (WUE) among three <i>Populus deltoids</i> clones, and the cloning and characterization of related gene, <i>PdERECTA</i>	GUO Peng, XIA Xinli, YIN Weilun (3239)
Arthropod community reestablishment and niche of the main groups in kiwifruit orchards	DU Chao, ZHAO Huiyan, GAO Huanhuan, et al (3246)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 11 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 11 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元